

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ИЗНОС ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ

С.В. Буров

Институт машиноведения УрО РАН,
г. Екатеринбург,
e-mail: burchitai@mail.ru

В настоящее время эффективными методами повышения эксплуатационной стойкости деталей машин признаны методы интенсивного поверхностного пластического деформирования (ИППД). Импульсная упрочняюще-чистовая обработка инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой (УЗО) является известным методом ИППД. Сущность УЗО заключается в прижатии к поверхности детали инструмента, колеблющегося вдоль нормали к поверхности, и перемещению инструмента вдоль поверхности. В литературе подробно рассмотрена дислокационная и зеренная структура поверхностных слоев чистых металлов, однофазных и низкоуглеродистых сталей после ультразвукового ИППД, однако изменения карбидной подсистемы сталей при УЗО исследованы в значительно меньшей степени. Целью настоящего исследования являлось исследование структурных изменений поверхностных слоев эвтектоидной стали при УЗО во взаимосвязи с износом при трении скольжения с граничной смазкой.

Материалом исследований служила отожженная эвтектоидная сталь У8, микролегированная 0,1 вес.% Ti (C – 0,74%; Mn – 0,37%; Ti – 0,1%) в отожженном состоянии. Исходная шероховатость не превышала $Ra = 0,25$ мкм. Микротвердость исходной структуры составляет 1900 ± 150 МПа.

Дисковые образцы, закрепленные механически на оправке, подвергли УЗО на установке, выполненной на базе токарного станка ТВ-4. Обработку производили сферическим алмазным индентором с радиусом закругления 4 мм по режимам, отличающимся друг от друга силой прижатия индентора (24,5; 49; 98 и 196 Н). Ультразвуковые колебания индентора радиусом 4 мм обеспечивались ультразвуковым генератором УЗГ-1,0/22 с магнитострикционным преобразователем ПМС-1, оснащенным звуковым трансформатором конической формы. При обработке частота колебаний составляла 22 кГц. Амплитуда колебаний индентора была равной 20 мкм. Скорость вращения дисков при обработке составляла 120 об/мин, продольная подача – 0,08 мм/об.

Образцы, подвергнутые ультразвуковой обработке, подвергали изнашиванию по схеме "вал – колодка" в условиях граничной смазки. Изнашиванию подвергали цилиндрические поверхности образцов. Колодка была изготовлена из стали 9ХС с твердостью 62 – 63 HRC₃. Скорость вращения дисков составляла 1400 об/мин, номинальное давление в зоне контакта 1,35 МПа. В качестве охлаждающей жидкости использовалась вода.

По результатам измерений микротвердости образцов выяснено, что максимальная микротвердость упрочненного слоя достигается на поверхности.

На рис. 1 представлены зависимости максимальной микротвердости поверхностного слоя и толщины упрочненной зоны от величины статического усилия прижатия индентора P . С увеличением усилия P пластическая деформация становится менее локализованной.

а

б

Рис. 1 Максимальная твердость (а) и глубина (б) упрочненного поверхностного слоя эвтектоидной стали в зависимости от статического усилия прижатия индентора.

Структура упрочненного поверхностного слоя зависит от величины статического усилия прижима индентора к поверхности. При УЗО с усилием до 98 Н на поверхности образцов имеется слой, в котором существенно снижена доля карбидных частиц и наблюдаются вытянутые несплошности. Карбиды в нижележащих слоях частично сфероидизированы (рис. 2а). При УЗО с нагрузкой 196 Н растворения и сфероидизации карбидных частиц не наблюдается (рис 2б).

а

б

Рис. 2. Структура поверхностного слоя стали после УЗО индентором, прижатым к образцу с силой P : (а) - 98 Н; (б) – 196 Н

Анализ диаграммы изнашивания (рис. 3) свидетельствует о том, что ультразвуковая обработка повышает износостойкость материала. Минимальный износ наблюдается у образцов, обработанных по режиму УЗО при значениях $P = 98$ Н.

Рис. 3. Потеря массы образцов при изнашивании по схеме "диск – колодка"

Рис. 4. Структура поверхностного слоя после УЗО ($P = 196$ Н) и изнашивания

Интенсивному изнашиванию образцов, предварительно обработанных индентором с усилием $P = 24,5, 49, 98$ Н, препятствуют высокопрочные слои материала, сформированные при УЗО. В процессе изнашивания образцов, подвергнутых предварительной ультразвуковой обработке с величиной $P = 196$ Н, высокопрочный "белый" слой формируется непосредственно при изнашивании. Ультразвуковая обработка, предварительно измельчая карбиды, выполняет часть работы трения, связанную со размолотом и растворением карбидной фазы. На рис. 4. отчетливо видно наличие слоя с трудноулавливаемой структурой на поверхности изнашивания. Крупных карбидных частиц в этом слое не наблюдается. По границе между "белым слоем" и нижележащим

объемом металла проходят магистральные трещины. Образование трещин такого рода должно контролировать процесс отделения продуктов износа. Таким образом, высокопрочный "белый" слой с растворившимися карбидными частицами, предварительно сформированный при УЗО, выступает в качестве защитного экрана и препятствует развитию пластической деформации в более глубоких слоях материала, тогда как его образование при трении менее эффективно с точки зрения повышения износостойкости.